

文章编号:1000-582X(2010)04-098-07

## 小波域自适应窗口 $4f$ 系统图像平滑降噪

徐 鑫, 韩 亮, 姬艳丽

(重庆大学, 通信工程学院, 重庆 400044)

**摘 要:**针对  $4f$  系统输出图像做复原处理时要比平常情况更注重保护图像细节, 提出一种小波域自适应窗口调整平滑降噪方法, 对系统图像中的随机噪声进行平滑去噪。该方法利用小波分解后高频子图像中图像细节的方向性分别确定平滑窗口的方向, 再利用小波变换的能量集中性优点调整窗口大小, 实现自适应调整窗口形状, 并用调整后的窗口对系统输出图像进行平滑去噪, 抑制其中的随机噪声。理论分析和实际光学系统图像实验表明, 该方法有明显的抑制随机噪声效果, 并且对图像细节有较好的保护, 峰-峰信噪比则有 2 dB 左右的提高, 视觉效果平滑, 适合  $4f$  系统这类要求一定精度且本身有低通效果的场合。

**关键词:**图像处理; 自适应窗口平滑; 小波分解;  $4f$  系统

中图分类号: TP751.1

文献标志码: A

## Adaptive window smoothing method for $4f$ system images in wavelet domain

Xu Xin, Han Liang, Ji Yan-li

(College of Communication Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, P. R. China)

**Abstract:** Due to the features of limited frequency band and existing noise for the output images of the conventional  $4f$  information optics system, it is required to protect the image detail regions much better when restoring the images. Based on the classic AWM method, an adaptive window smoothing method which can adaptively adjust the shape of the smoothing window in wavelet domain is proposed to remove the random noise in the system output images. The method utilizes the direction of the high pass sub-images decomposed by wavelets to determine the direction of the smoothing window, and adjusts the size of the smoothing window based on the advantage of energy concentration characteristics of sub-images in wavelet domain to adjust the shape of the window adaptively. The output image of the  $4f$  system is smoothed with the adjusted windows. The theoretical analysis and experiments show that the method can de-noise the image in visual sensation and protect the image detail well, while PSNR is improved about 2 dB. It is suitable for the cases which require a certain image precision and has low pass characters, such as the  $4f$  optic system.

**Key words:** image processing; adaptive window smoothing; wavelet decomposition;  $4f$  system

收稿日期: 2009-10-12

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60472037); 重庆市自然科学基金资助项目(2008BB2302); 中国博士后科学基金资助项目(20080430096)

作者简介: 徐鑫(1980-), 男, 重庆大学博士研究生, 主要从事小波分析, 信息光学方向研究, (Tel) 13983963895; (E-mail) fox\_foxy@sohu.com。

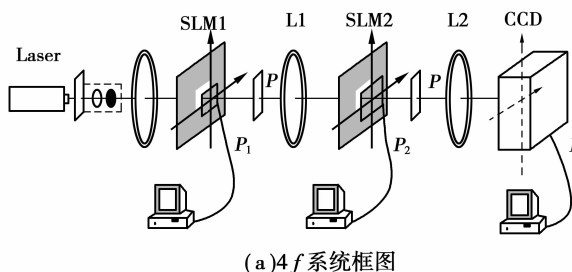
$4f$  系统用光来完成图像的空频域转换,是基础的相干光图像处理组件,被用于多种图像采集、处理场合中<sup>[1-3]</sup>,但目前由于器件和环境等问题,其输出图像中难免有噪声,需要校正。在信息光学的另一领域——合成孔径雷达(SAR)图像研究中,常用的去除高斯白噪声方法有线性的 Lee、Frost、非线性的 SRAD 等方法<sup>[4-6]</sup>,但 SAR 系统与  $4f$  系统有所不同,这些方法在此的效果并不稳定。

数字处理领域中,自适应窗口平滑是常用的去除高斯白噪声方法,其自适应调整包含调整窗口权值和形状两部分,对权值的调整有高斯加权、双边滤波、非局域加权平均等多种成熟方法。对窗口形状的调整方法则以 A. Goshtasby 和 M. Satter 提出的 Adaptive Window Mechanism(AWM)方法<sup>[7]</sup>为代表,研究主要对窗口形状调整方法进行研究。

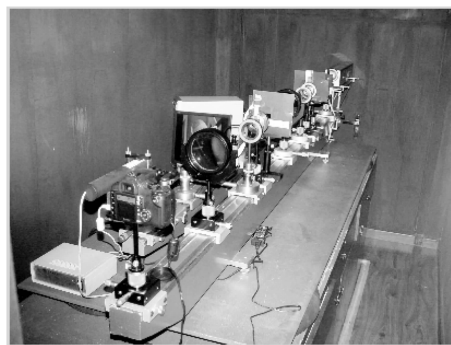
AWM 方法通过计算目标点的梯度来调整窗口的方向和大小,其中在噪声的干扰下,对图像信息的分析是它的关键环节,针对这个问题,文中提出一种基于小波分解的自适应窗口调整方法,利用小波分解后的细节方向性调整窗口的方向,利用其能量集中性调整其大小,并将之用于  $4f$  系统图像的噪声平滑中,实现去噪同时较好的保留图像细节的目的。

## 1 $4f$ 系统输出图像

图 1(a)示意了典型  $4f$  信息光学系统,(b)是课题组所用的试验平台,由波长 633 nm 的 DH-HNKW250P 型 HE-NE 激光源、72 lp/mm 的 sony lcx029 液晶板空间光调制器(SLM)、焦距400 mm的 GCO-0203M 型消色差傅里叶透镜以及佳能 EOS 350D CCD 相机等设备构成。用 SLM1 输入图像,在  $P_2$  面上得到其频谱,用 SLM2 加载滤波器就可以实现频域滤波,最后在输出面上用采集到滤波后的图像。这里研究  $4f$  系统本身的质量,故假设 SLM2 上加载全通滤波器。图 1(c)(d)是系统处理前后的 Lena 图像,可见其中有明显的噪声需要处理。



(a)  $4f$  系统框图



(b) 实验平台



(c) 输入 Lena 图像



(d) 输出 Lena 图像

图 1  $4f$  光学系统及其处理的图像

$4f$  系统是近光程的相干光系统,有随机噪声和相干噪声两种干扰,后者来自于相干光源的相干现象,主要分布在低频区域,和图像信息混合严重,最好从器件本身出发校正。而前者由灰尘、热噪声等随机因素引起的,常把它们合起来考虑成高斯白噪声,是后期算法校正的重点对象。另外  $4f$  系统有较严重的低通效果<sup>[8-9]</sup>,如系统中,输出图像的带宽只有输出图像的  $1/2$  左右,已经是输入图像的低通滤波结果,这就要求处理时要格外注意保护图像细节。

## 2 自适应窗口调整原理

窗口形状调整主要是希望避免平滑窗口跨越图像细节,因此将窗口的半径和方向按照图像边缘位置进行调整。如图 2 中,虚线表示图像的边缘,方形窗和十字窗在靠近边缘时应该减小半径以避免“跨越”边缘,而在平坦区域,可以使用大窗口则对噪声的平滑。同时,还将方向调整为平行于图像的边缘方向。

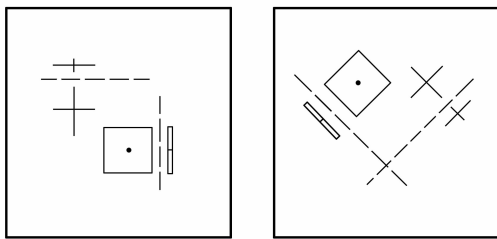


图 2 自适应窗口的形式

可见,窗口的自适应调整主要分为调整方向和长、宽两步。AWM 方法按下面步骤进行:先计算平滑点处的方向导数 $\vec{d}_i$ ,如果该点处于图像边缘线附近,那么幅值最大的 $\vec{d}_{\max}$ (即该点梯度)应指向剧烈变化的图像边缘, $\vec{d}_{\max}$ 在边缘法线方向上,而幅值最小的 $\vec{d}_{\min}$ 则是平行于图像边缘的方向,由此可以确定该点平滑窗口的宽( $W$ )和高( $H$ )

$$W = a/k_{\min}(g_{\min} + 1), \quad (1)$$

$$H = a/k_{\max}(g_{\max} + 1), \quad (2)$$

$a$  是设定的窗口基础宽度; $k$  是常系数,针对不同图像的梯度情况可调整;分母中“+1”是为避免方向导数为 0 时的情况,这样就能自适应调整窗口的长和宽。再用 $\alpha_m$  表示 $\vec{d}_{\max}$ 的垂直方向与  $x$  轴的夹角,根据此将窗口旋转

$$x = X\cos(\alpha_m) - Y\sin(\alpha_m), \quad (3)$$

$$y = X\sin(\alpha_m) + Y\cos(\alpha_m), \quad (4)$$

$X, Y$  和  $x, y$  分别表示调整前后的坐标,最后得到如图 1 中沿图像边缘自适应调整方向和大小的窗口,图 3 示意了这一过程,同样虚线表示图像边缘。

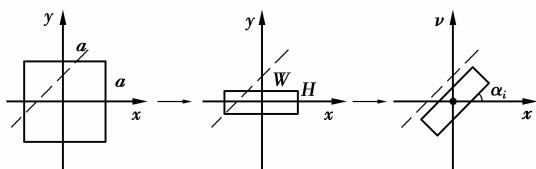


图 3 AWM 方法过程

## 3 小波域自适应窗口调整

AWM 的特点是它通过目标点的梯度来调整窗口方向,在数字矩阵图像中是通过考察目标点和它周围 8 个相邻点的差分关系来实现的,同时为了保持窗口的对称性,所以实际上只有水平、垂直和斜向 3 种可能。而小波分解实际上正好能将图像分成这 3 个方向的分量,下面将设计一种小波域的自适应窗口调整方法,利用小波分解的方向性确定窗口的旋转方向,同样可以得到水平、垂直和斜向窗口;再利用小波变换的能量集中性可以放大图像边缘与噪声的差异,还能更容易调整窗口的形状。

图像窗口平滑和小波分解的模型是

$$\begin{cases} f' = f \cdot \omega; \\ f = f \cdot \psi * \tilde{\psi}; \\ f' = f \cdot \psi \cdot \omega \cdot \tilde{\psi}. \end{cases} \quad (5)$$

其中:第一式表示用窗口  $\omega$  平滑图像的过程;第二式简单示意图像的小波分解和重构;将其代入一式可得到第三式,即方法的模型,其具体步骤是

1) 预处理。为对图像边界区域取窗口平滑,要先做边界延拓处理,笔者采用对称延拓。

2) 图像分解。对预处理后的图像做小波分解,得到低频子块和 3 组高频子块,采用非下采样小波变换(UWT)方式以避免振铃效应。

3) 各高频块中取自适应窗口。图像小波分解后的低频子带中主要是其轮廓信息,不宜轻易改变,高频子带中图像细节信息集中在少数点上;另一方面,噪声小波分解后,会随分解级数上升而能量下降。既是说,低频子带中相对图像信息多、噪声少,主要是图像的轮廓信息,有较高的信噪比。高频子带中是集中在少数点上的图像细节和大量的随机噪声,所以去噪主要在高频子带中进行。对各高频子块,分别逐点取自适应窗口,调整方法如下。

### 3.1 窗口方向调整

小波分解高频子块中是沿水平、垂直和斜向的边缘信息,已具有较强的方向性,因此可以直接将平滑窗口设定为相应方向。还是用图 1 来示意,(a)图示意了水平和垂直高频子块的窗口方向,(b)示意了斜向子块的窗口方向。

与 AWM 方法相比,WT 域中的窗口方向直接设定,不用计算各点的梯度再调整,更简便,这主要得益于小波分解的方向性,而之所以使用张量小波而没有用方向更多的曲线波、轮廓波<sup>[10-12]</sup>等分解方

式,主要还是由于窗口平滑技术中使用的都是较小的窗,在数字矩阵图像中,小窗口的点数较少,很难体现出除水平、垂直和斜向外的其它方向。

### 3.2 窗口大小调整

小波变换还有能量集中性,选择合适的正则性的小波函数,就能使具有相应平滑性的自然图像的边缘信息集中在少数系数点上,相反高斯白噪声的变换系数仍然是随机的散开分布,故经变换后,二者的差异被放大了,这将利于在噪声干扰下调整窗口 2 个方向的半径。

#### 3.2.1 方形窗

采用方形窗,水平和垂直子块中的窗是相似的,先调整它们中的窗口:

1)假设要对 $(i_0, j_0)$ 点取窗口,设初始窗为 $2a + 1 \times 2a + 1$ 点, $a$ 是初始半径,决定窗口可能的最大尺寸。

2)在初始窗范围内,检索重要系数点。由于小波变换放大了图像细节和噪声的幅值差异,同时图像细节是连续的纹理,而噪声是高斯随机分布的,所以可以认为大幅值且连续分布的系数点可能含有重要信息,应该避免平滑窗口“跨越”这些系数点。故先在初始窗范围内取二值模板  $B(i, j)$  标注出这些可能是重要信息的系数点

$$B'(i, j) = \begin{cases} 1, & |f(i, j)| \geq T; \\ 0, & \text{else.} \end{cases} \quad (6)$$

$$B(i, j) = \begin{cases} 1, & B'(i, j) \times \sum_M B'(i, j) > 1; \\ 0, & \text{else.} \end{cases} \quad (7)$$

用式(6)先找出初始窗范围内的大能量点,阈值选为  $T = \sigma \sqrt{2 \log m} / 2^{\lceil l/2 \rceil}$ ,  $\sigma$  是噪声标准差,用第一级斜向子块系数估计,  $m$  是图像点数,分母  $2^{\lceil l/2 \rceil}$  表示随子带级数  $l$  调整  $T$  大小,这符合小波变换后噪声能量随分解级数上升而下降的规律<sup>[13]</sup>,  $\lceil \cdot \rceil$  表示上取整。式(7)表示进一步找出连续分布的大能量点,  $M$  是目标点周围  $3 \times 3$  的邻域范围,最终  $B(i, j)$  中的 1 值点标识了“重要系数点”。

3)在初始窗范围内根据模板  $B(i, j)$  调整窗口大小,以图 4(a)为例,0 点是目标点,其在  $7 \times 7$  的初始窗中的坐标为  $(0, 0)$ ,假设 1~9 点是  $B(i, j)$  标识出的重要系数点。首先用欧氏距离  $s = \sqrt{i^2 + j^2}$  找出离目标点最近的重要点,其在初始窗中的坐标是  $(m_0, n_0)$ ,若  $|m_0| \leq |n_0|$ ,那么先收缩窗口  $y$  方向半

径为  $H = |n_0| - 1$ ;若  $|m_0| > |n_0|$ ,则先收缩窗口长的半径为  $W = |m_0| - 1$ (若中心点本身是重要系数点,  $m_0 = n_0 = 0$ ,则窗口取为该点本身;若没有重要系数点,则半径保持为

$$\begin{cases} W = |m_0| - 1, & |m_0| \leq |n_0|; \\ H = |n_0| - 1, & |m_0| > |n_0|. \end{cases} \quad (8)$$

然后在收缩后的窗口范围内找到下一个最近的欧氏距离点 $(m'_0, n'_0)$ ,调整相应的  $y$  方向或  $x$  方向半径为

$$\begin{cases} H = |n'_0| - 1; \\ W = |m'_0| - 1. \end{cases} \quad (9)$$

这样调整后的窗口为 $(2|m_0| + 1, 2|n'_0| + 1)$ 或 $(2|n_0| + 1, 2|m'_0| + 1)$ 点,实现  $x$  和  $y$  方向上的自适应调整。如图 4(a)例中,第一个最近欧氏距离点是 4 点 $(-1, -2)$ ,所以先收缩  $y$  方向半径为 1,再在该范围内找到下一个最近点是 6 $(3, 1)$ ,则再收缩  $x$  方向上半径为 2,得到虚线示意的窗口,避开跨越重要系数点。

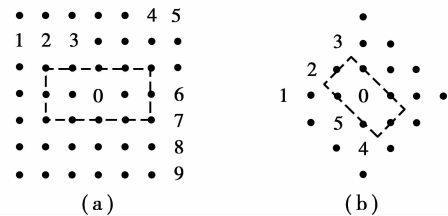


图 4 窗口大小调整

斜向子块中的方形窗是菱形形式,以图 4(b)为例分别调整  $45^\circ$  和  $135^\circ$  方向的半径,其过程与水平垂直方向子块调整同理。

1)仍设初始窗半径为  $a$ ,由于数字图像在斜向上是非单位 1 采样的,故用城市街区距离<sup>[14]</sup>  $s = |i| + |j|$  作为斜向上的距离量度,如图 4(b)是斜向半径为 3 的初始窗范围。

2)同样用  $B(i, j)$  标识出初始窗范围内的“重要系数点”,如图 4(b)中的 1~5 点。

3)同样先找到初始窗范围内的最近距离点,距离为  $m$ ,若该点位于中心点的一、三象限(包含水平和垂直轴),则收缩  $135^\circ$  斜向半径为  $m - 1$ ;若该点位于中心点的二、四象限,则收缩  $45^\circ$  斜向半径为  $m - 1$ 。然后在收缩后的范围内找到下一个最近距离点,距离为  $n$ ,将另一个方向的半径收缩为  $n - 1$ ,实现斜向的 2 个半径调整。如图 4(b)中,第一个最近距离点是 5 或 4,距离为 2,所以收缩  $135^\circ$  方向半径为 1,在该范围内最近点是 2 或 3,距离为 3,故再

收缩 45°斜向半径为 2, 得到虚线示意的窗。

### 3.2.2 十字形窗

对十字形窗, 同样分水平垂直子块和斜向子块 2 种情况。首先仍设定目标点  $(i_0, j_0)$  的初始窗半径为  $a$ , 在该范围内用  $B(i, j)$  标识出重要系数点, 再据此调整窗口半径。

在水平垂直子块中, 用下式调整  $x$  和  $y$  方向的半径:

$$\omega_x = \bar{B}(i_0, j_0 - 1)\bar{B}(i_0, j_0 + 1) + \dots + \prod_n^a \bar{B}(i_0, j_0 - n)\bar{B}(i_0, j_0 + n); \quad (10)$$

$$\omega_y = \bar{B}(i_0 - 1, j_0)\bar{B}(i_0 + 1, j_0) + \dots + \prod_n^a \bar{B}(i_0 - n, j_0)\bar{B}(i_0 + n, j_0)。 \quad (11)$$

其中  $\bar{B}$  表示对  $B$  取反, 即用 0 表示重要系数点。该式的含义是从  $(i_0, j_0)$  的第一对相邻点开始, 沿需要方向的两侧同时逐个考察下一对相邻点是否有重要系数点, 当两侧的相邻点同时为非重要系数点时将半径展宽一点, 否则到此为止。

在斜向子块中, 用类似的方法调整 45°和 135°方向半径

$$\omega_{45^\circ} = \bar{B}(i_0 - 1, j_0 + 1)\bar{B}(i_0 + 1, j_0 - 1) + \dots + \prod_n^a \bar{B}(i_0 - n, j_0 + n)\bar{B}(i_0 + n, j_0 - n); \quad (12)$$

$$\omega_{135^\circ} = \bar{B}(i_0 - 1, j_0 - 1)\bar{B}(i_0 + 1, j_0 + 1) + \dots + \prod_n^a \bar{B}(i_0 - n, j_0 - n)\bar{B}(i_0 + n, j_0 + n)。 \quad (13)$$

该式的含义与式(10)、(11)相似。这样可以得到如图 1 中的自适应调整的十字形窗口, 避开对重要系数的跨越。

## 4 窗口平滑并重建图像

用方法可以得到 3 个子块中自适应调整的窗口, 其特点是它由中心开始向外逐点扩展, 遇到第一个重要系数点就立即停止, 避免窗口跨越该点。接下来就可以在这些窗口中平滑图像, 选用双边平滑滤波方法

$$f'(i_0, j_0) = \frac{1}{c} \sum_W w(i, j) f(i, j),$$

$$w(i, j) = e^{(-\frac{(i_0-i)^2+(j_0-j)^2}{2\sigma_L^2})} e^{(-\frac{|f(i,j)-f(i_0,j_0)|^2}{2\sigma_S^2})},$$

$$c = \sum_W w(i, j)。 \quad (14)$$

它表示用  $(i_0, j_0)$  点周围邻域  $W$  内的加权平均值

$f'(i_0, j_0)$  来代替  $f(i_0, j_0)$  值,  $c$  是归一化常数,  $w(i, j)$  是双边加权值, 对像素点之间的空间距离和灰度距离同时考察,  $\sigma_L$  和  $\sigma_S$  是空间距离和灰度距离的调整参数,  $W$  就是用该方法调整得到的自适应窗口。

用上面的方法对每一个高频子带进行平滑滤波, 最后再小波逆变换即可得到去噪图像, 完成处理。

## 5 试验结果

用研究方法对系统的输出 Lena 做了去噪试验, 同时还使用 Lee、Frost、SRAD 和 AWM 方法做对比, 结果如图 5, 表 1 是其统计参数。其中方法采用 Bior4.4 小波做 4 级 UWT 变换, 初始窗口半径选为 3, 其余各方法的参数均按原著文献中提供的参考值设定。

再次说明的是, 4f 系统不仅有高斯白噪声, 还有低频段的相干噪声, 研究主要针对前者, 所以这些方法处理后图像中还有一些低频段噪声, 如果需要还可以用其它后续方法再处理<sup>[15]</sup>, 图 6 给出研究在该方法基础上再用其它方法处理相干条纹的结果, 仅供参考。



(a) 输出Lena



(b) 研究方法处理结果



(c) Lee方法处理结果



(f)AMW方法处理结果

图 5 去噪处理结果



(d) Frost方法处理结果



图 6 处理相干噪声后 lena



(e) SRAD方法处理结果

图 5(a)是输出 lena,(b)是方法结果,(c)~(f)是用 Lee、Frost、SRAD 和 AWM 方法处理的结果。对比可以看出,在 SAR 领域常用的 Lee 和 Frost 对图像细节有更多的模糊,SRAD 可以通过调整参数以改变效果,但在降噪和保护图像细节的平衡上需

要调整,AWM 方法有较好的保护图像细节能力。而方法在去噪方面和其它方法相当,但对图像细节有更好的保护,虽然处理后也有模糊效果,但程度要轻得多,更适合  $4f$  系统类已有细节损失的场合。从表 1 看,可以说方法在 PSNR 的意义上能达到与其它方法相当的程度。

表 1 结果图 PSNR

图号	内容	PSNR/dB
(a)	系统输出图	22.825 8
(b)	研究方法	23.691 5
(c)	lee	23.362 3
(d)	Frost	23.310 7
(e)	SRAD	23.472 7
(f)	AWM	23.425 6

## 6 结 论

研究在  $4f$  光学系统这类带宽有限, 含高斯白噪声的自然图像去噪场合中, 在去噪和保护细节的平衡上效果较好。其主要原因在于利用了图像的方向分解来优化窗口的调整, 使得在噪声干扰的情况下窗口的自适应调整更加有效。总之对于这类带宽有限的图像, 处理时保护细节要比普通图像的要求高, 所以用小波分解等能促进分析定位细节的方法做预处理再去噪, 将更利于保护图像细节。

### 参考文献:

- [1] MENDLOVIC N. Optical realization of the wavelet transform for two-dimensional objects [J]. Applied Optics, 1993, 32(32): 6542-6546.
- [2] 才德, 严瑛白, 金国藩. 光学小波包变换及其滤波器的研究[J]. 光子学报, 2006, 35(7): 1076-1079.  
CAI DE, YAN YING-BAI, JIN GUO-FAN. Research on optical wavelet packet transform and its filter for iris recognition [J]. Acta Photonica Sinica, 2006, 35(7): 1076-1079.
- [3] 韩亮, 田逢春, 徐鑫. Mallat 算法的光学实现[J]. 光学精密工程. 2008, 16(8): 1490-1499.  
HAN LIANG, TIAN FENG-CHUN, XU XIN. Optical implementation of Mallat algorithm[J]. Optics and Precision Engineering, 2008, 16(8): 1490-1499.
- [4] LEE J S. Digital image enhancement and noise filtering by use of local statistics [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1980, 2(2): 165-168.
- [5] FROST V S, STILES J A, SHANMUGAM K S. An adaptive filter for smoothing noisy radar images [J]. Proceedings of IEEE, 1981, 69(1): 133-135.
- [6] YU Y, ACTON S T. Speckle reducing anisotropic diffusion [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2002, 11(11): 1260-1270.
- [7] GOSHTASBY A, SATTER M. An adaptive window mechanism for image smoothing [J]. Computer Vision and Image Understanding, 2008, 111(2): 155-169.
- [8] TIAN F C, XU X, XUE F, et al. The size limitation on input image of  $4f$  system in applications of optical image data compression [C]// Proceedings of International Conference on Sensing, Computing and Automation, May 8-11, 2006, Waterloo, Canada. Waterloo, Canada: Watam Press, 2006, (5): 2208-2211.
- [9] 韩亮, 田逢春, 徐鑫. 光学  $4f$  系统的图像空间频率特性 [J]. 重庆大学学报, 2008, 31(4): 426-431.  
HAN LIANG, TIAN FENG-CHUN, XU XIN. Spatial frequency characteristics of optical  $4f$  system [J]. Journal of Chongqing University, 2008, 31(4): 426-431.
- [10] CANDES E J, DONOHO D L. New tight frames of curvelets and optimal representations of objects with piecewise  $C^2$  singularities [J]. Communications on Pure and Applied Mathematics, 2003, 57(2): 219-266.
- [11] WELLSAND G V. Beyond wavelets [M]. New York: Academic Press, 2002: 1-27.
- [12] CUNHA L D, ZHOU J P, DO M N. The nonsubsampled contourlet transform: theory, design, and applications [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2006, 15(10): 3089-3101.
- [13] XU Y S, WEAVER J B, DENNIS M. Wavelet transform domain filters: a spatially selective noise filtration technique [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1994, 3(6): 747-758.
- [14] GONZALEZ R C, WOODS R E. Digital image processing [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2003: 53-54.
- [15] 徐鑫, 田逢春, 唐光菊. 基于阶跃响应的  $4f$  系统逆滤波去噪方法 [J]. 光电工程, 2009, 36(2): 122-125.  
XU XIN, TIAN FENG-CHUN, TANG GUANG-JU. Inverse filtering denoising method for  $4f$  system based on step function response [J]. Opto-Electronic Engineering, 2009, 36(2): 122-125.

(编辑 侯 湘)